

УДК 621.774.6

Гурковская С. С., Красовский С. С.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Процесс развития человечества связан с развитием его способностей. Развитие вычислительной техники в совокупности с необходимостью изготовления конкурентоспособной продукции [1, 2] заставляют производителей внедрять новейшие технологии на всех этапах проектирования и изготовления. Следовательно, повышаются требования к качеству подготовки специалистов всех профилей, в том числе и к выпускникам технических вузов. Они должны обладать соответствующими знаниями и квалификацией.

Большинство из современных технологий основаны на применении систем компьютерного моделирования и технологической подготовки производства как самой продукции, так и технологической оснастки для ее выпуска. И именно современные системы автоматизированного проектирования (САПР) являются серьезным помощником, ведь одна из важнейших задач современных САПР — избавить инженера от рутинной работы. [3, 4]

Если рассматривать целевое назначение существующих САПР, то следует выделить следующие их подсистемы [4]:

CAD (сокращение от англ. computer-aided design/drafting) — средства автоматизированного проектирования, предназначенные для автоматизации 2D/3D трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации.

CAE (сокращение англ. computer-aided engineering) — средства автоматизированного проектирования, предназначенные для инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий.

CAM (сокращение англ. computer-aided manufacturing) — средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудования с ЧПУ или ГАПС (Гибких автоматизированных производственных систем).

CAPP (сокращение англ. computer-aided process planning) — средства автоматизации планирования технологических процессов, применяемые на стыке систем CAD и CAM.

Применение полного комплекса систем автоматизированного проектирования позволяет снизить материалоемкость изделия на 20–25 %, затраты на производство – на 15–20 %, сократить цикл создания изделия примерно в 2 раза, повысить качество изделия и, как следствие, повысить конкурентоспособность предприятия. Кроме того, в процессе создания новых машин иногда крайне трудно или очень дорого проводить их испытания в условиях, предусматриваемых областью применения. При этом создаваемое оборудование должно иметь высокую надежность, долговечность и производительность после освоения серийного производства. И именно поэтому решение вопросов, определяющих производительность и ресурс машинного технического уровня в кратчайшие сроки, было бы практически невозможно без использования современных методов компьютерного моделирования и инженерного анализа на базе МКЭ. Программы инженерного анализа на базе МКЭ позволяют с достаточной оперативностью и точностью оценить поведение конструкций, не укладывающихся в каноны аналитических и «полуаналитических» зависимостей.

Целью работы является повышение качества образования студентов технических специальностей, а также увеличение конкурентоспособности отечественных предприятий за счет повышения квалификации специалистов на мировом рынке, в основе которого лежит применение современных CAE-систем при проектировании нового, а также модернизации существующего оборудования.

В качестве основного продукта, используемого для решения поставленной задачи, рассмотрим самый популярный и мощный пакет расчета в мире — Abaqus [5]. Данный программный комплекс основан на численном методе решения дифференциальных уравнений, широко используемом в различных областях техники – методе конечных элементов (МКЭ). Основная идея МКЭ состоит в том, что любую непрерывную в некоторой области величину (например, усилие, перемещение, температура, давление и т. п.) можно аппроксимировать дискретной моделью, которая создается из множества кусочно-непрерывных функций, определенных в конечном числе подобластей (элементов). Обычно такими функциями являются полиномы – линейные, квадратичные, кубические и т. д. Кусочно-непрерывные функции строятся с помощью значений непрерывной величины в точках соединения элементов (в узлах). Таким образом, чтобы определить неизвестную непрерывную величину, нужно определить ее значения в узлах. С каждым годом процент использования МКЭ увеличивался, и этому способствовал ряд преимуществ данного метода, главными среди которых стоит выделить следующие:

- исследуемые объекты могут иметь любую форму и различную физическую природу (твёрдые деформируемые тела, жидкости, газы, электромагнитные среды);
- конечные элементы могут иметь различную форму и размеры;
- можно исследовать однородные и неоднородные, изотропные и анизотропные объекты с линейными и нелинейными свойствами;
- возможно решение контактных задач;
- возможно моделирование любых граничных условий;
- на одной и той же сетке конечных элементов можно решать различные физические задачи, что облегчает анализ связанных задач.

Программный комплекс Abaqus разработан по модульному принципу. Он состоит [6] из двух основных модулей - Abaqus/Standard и Abaqus/Explicit, пре-пост-процессора Abaqus/CAE и дополнительных модулей, учитывающих особенности специфических проблем (Abaqus/Aqua, Abaqus/Design, FE-Safe). Abaqus/Standard предназначен для решения традиционных задач конечно-элементного анализа, таких как, статика, динамика, теплопередача в совокупности с контактными взаимодействиями и нелинейными свойствами материалов, основан на неявной схеме интегрирования. Abaqus/Standard позволяет использовать различные методы анализа статике и динамики конструкций во временной и частотной области. Abaqus/Explicit – решатель для сильно нелинейных переходных быстротекущих динамических процессов, использующий явную схему интегрирования метода конечных элементов. Что касается пре-пост-процессора Abaqus/CAE, то это графическая оболочка для моделирования, управления и мониторинга задач, а также для визуализации результатов расчета в Abaqus. Схематично этапы решения задач с использованием модулей и пре-пост-процессора представлены на рис. 1.

В качестве примера объекта исследования предлагается рассмотреть быструю и качественную модернизацию редуктора. Согласно основным этапам решения поставленной задачи (см. рис. 1) сначала необходимо создать геометрическую (в нашем случае 3D) модель редуктора. Геометрическую модель (рис. 2, а) можно создать как непосредственно встроенным графическим редактором в программном продукте, так и посредством любого САД-редактора. Все что необходимо, так это перед транспортированием модели сохранить ее в форматах STEP/IGES/ACISSAT. После завершения геометрического построения (или переноса модели детали из САД) необходимо обязательно задать материал детали и свойства сечения. Затем на полученную модель необходимо наложить конечно-элементную сетку (см. рис. 2, б), однако следует помнить, что от правильного разбиения сетки (тип и размер элемента), особенно в контактных задачах, очень сильно зависит сходимость решения. И, наконец, на третьем этапе в соответствии с техническим заданием накладываются граничные условия, и затем готовая модель отправляется на расчет.

- недостаточный уровень проработки существенных элементов и частей модели;
- неправильная или неточная постановка задачи исследования;
- шаг разбиения МКЭ.

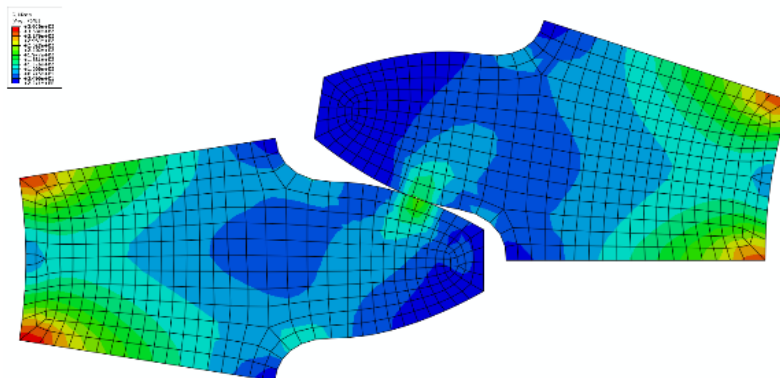


Рис. 3. Распределение поля напряжений

При этом если отбросить все нюансы, то чем меньше шаг разбиения модели, тем точнее получаемые результаты, однако при этом возрастает время расчета и требования к ПК. Для подтверждения адекватности расчета нередко используются аналитические модели для каких-то частных, известных случаев, которые впоследствии можно применять как своеобразный тест. Поэтому на этапе исследования встает вопрос об определении шага конечно-элементной сетки таким образом, чтобы результаты проведенных расчетов не выходили за области погрешностей, но при этом расчет занимал приемлемое время.

Сам процесс разбиения модели на конечные элементы называется триангуляцией. Комплектность конечных элементов, на которые разбита конструкция, называется конечно-элементной сеткой. Несомненно, триангуляция – это один из ключевых этапов создания расчетной схемы в программной среде. От безошибочности разбиения на конечные элементы зависит точность результатов расчета. Среди основных видов конечных элементов отмечают: одноузловые; стержневые; пластинчатые; объемные.

Среди основных типов конечно-элементной сетки выделяют регулярные и нерегулярные. Регулярные сетки представляют собой совокупность конечных элементов правильной геометрии. Чаще всего квадрат. Для нерегулярной сетки размеры сторон соседних элементов могут существенно различаться, и сетка не имеет четкой структуры

При выборе типа и размера сетки конечных элементов рекомендуем руководствоваться следующими принципами, которые помогут получить максимально близкие к реальности результаты:

- регулярная сетка дает более точные результаты, чем нерегулярная;
- прямоугольные 4-узловые конечные элементы дают более точные результаты, чем треугольные;
- треугольные элементы с промежуточными узлами имеют точность, близкую к сетке прямоугольных 4-х узловых элементов;
- прямоугольная сетка с промежуточными узлами дает более точные результаты, чем треугольная сетка с промежуточными узлами, несмотря на большую площадь;
- промежутки между конечными элементами не допускаются;
- допускается комбинация треугольных и четырехугольных элементов в одной модели;
- строить 4-узловые элементы с тупым ($> 180^\circ$) внутренним углом запрещается.

Количество элементов в расчётной модели обратно пропорционально размеру конечных элементов, при этом, время расчета увеличивается по экспоненте с уменьшением размеров конечных элементов (рис. 4).

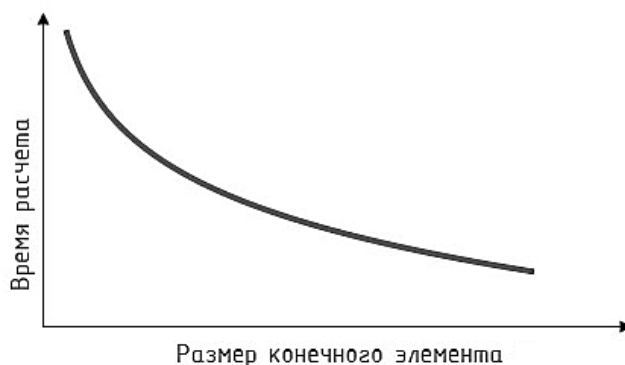


Рис. 4. Графік залежності часу розрахунку від розміру кінцевих елементів

При виборі розмірів сітки кінцевих елементів необхідно завжди пам'ятати, що сам метод кінцевих елементів – це метод числового наближення, і абсолютної точності він дати не може. Да, погрешність вичислень знижується при зменшенні розмірів кінцевих елементів, але повністю вона не усувається, і, частіше за все, подальше зменшення сітки не буде призводити до помітного збільшення точності. При цьому час розрахунку буде збільшуватися. Тому не варто прагнути до надто дрібної сітки.

ВЫВОДЫ

Застосування сучасних САЕ-систем комп'ютерного моделювання допомагає інженеру оперативно оцінити уразливі місця в конструкції, внести в неї удосконалення, а при необхідності провести модернізацію конструкції в цілому. Існуюча глобальна комп'ютеризація, а також складне положення ринку праці України [8] пред'являє жорсткі вимоги до випускників вищих навчальних закладів. Одним з шляхів відповідності цим жорстким реаліям є введення в освітній процес вищих навчальних закладів сучасних систем автоматизованого проектування, найважливішою частиною яких є програмний комплекс Abaqus.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мосий А. *Анализ развития отечественного машиностроения [Электронный ресурс]* / А. Мосий, Г. Маший, Н. Марченко // *Социально-экономические проблемы и государство*. – 2011. – Вып. 2 (5). – Режим доступа к журн.: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2011/11mobrvn.pdf>.
2. *Конкурентные стратегии на мировых рынках : курс лекций. Часть I.* / И. А. Соболенко – Мн. : МИТ-СО, 2007. – 120 с.
3. *Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования : учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп.* / И. П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 336 с.
4. *Малюх В. Н. Введение в современные САПР: курс лекций* / В. Н. Малюх. — М. : ДМК Пресс, 2010. — 192 с.
5. *Золочевский А. А. Введение в ABAQUS Методическое пособие* / А. А. Золочевский, А. А. Беккер. — Харьков : 2011. — 49 с. — ISBN 978-966-2262-27-8.
6. *Dassault Systemes Inc. Introduction to Abaqus.*
7. *Голдобин В. А. Анализ напряженного состояния зубьев эвольвентных передач при помощи пакета АРМ WINMACHINE : Машинознавство. Матеріали 9-ої регіональної науково-методичної конференції* / В. А. Голдобин, А. А. Пустовой. – Донецьк : ДонНТУ, 2007. – С. 16–19.
8. *Акіліна О. В. Аналітичний огляд ринку праці в Україні* / О. В. Акіліна // *Формування ринкових відносин в Україні*. – 2014. – № 10. – С. 152–159.